

行距配置对套作大豆冠层光环境及其形态特征和产量的影响

高仁才, 杨 峰, 廖敦平, 苏本营, 崔 亮, 邓传蓉, 杨文钰

(四川农业大学 农学院/农业部西南作物生理生态与耕作重点实验室, 四川 成都 611130)

摘要:为明确玉米-大豆带状套作群体行距配置对套作大豆的影响, 固定带宽为 200 cm, 玉米采用宽窄行种植, 设定玉米窄行距离为 20 cm (P1)、40 cm (P2)、60 cm (P3)、80 cm (P4) 和 100 cm (P5), 研究了不同行距配置对套作大豆共生期光环境及其形态特征和产量的影响。结果表明: (1) 套作大豆冠层的透光率和红光/远红光 (R/Fr) 比值随着玉米窄行行距的增大 (玉豆间距的减小) 而逐渐降低; (2) 套作大豆单株的茎粗、地上部生物量、根长、根重和根冠比随着透光率和 R/Fr 值的增大呈现上升的趋势, 最大值出现在玉米窄行 20 cm (P1) 处理, 分别为 2.02 mm、0.25 g、8.5 cm、0.034 g 和 0.14; 而株高变化规律相反, 最大值为 31.9 cm, 出现在 100 cm (P5) 处理中; (3) 套作大豆的产量在 P1 处理和 P2 处理下差异不显著, 最高产量为 1 472 kg·hm⁻², 随后随玉米窄行行距的增大而迅速降低, 并且与其冠层的透光率和 R/Fr 比值呈显著和极显著正相关。因此, 在玉米-大豆带状套作系统中, 将玉米窄行行距控制在 20~40 cm 范围, 有利于大豆生长发育的光环境及后期恢复和产量形成。

关键词: 玉米-大豆套作; 透光率; R/Fr; 光质; 根冠比; 生物量

中图分类号: S565.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.11861/j.issn.1000-9841.2015.04.0611

Effects of Different Row Spacings of Maize on Light Environment, Morphological Characteristics and Yield of Soybeans in a Relay Intercropping System

GAO Ren-cai, YANG Feng, LIAO Dun-ping, SU Ben-ying, CUI Liang, DENG Chuan-rong, YANG Wen-yu
(College of Agronomy, Sichuan Agricultural University/Key Laboratory of Crop Ecophysiology and Farming System in Southwest, Ministry of Agriculture, Chengdu 611130, China)

Abstract: In order to clarify the impacts of different row spacings on soybeans in soybean relay intercropping with maize of 200 cm strip width, five treatments were set with different row spacings which were 20 cm (P1), 40 cm (P2), 60 cm (P3), 80 cm (P4) and 100 cm (P5). We analyzed the changes of light environment under different narrow row spacings and its impact on soybean plant morphology and yields of the two crops. The results showed that: (1) the photosynthetic active radiation (PAR) and Red/Far-red (R/Fr) value of the relay intercropping soybean layer decreased when row spacing increased; (2) Similar to PAR and R/Fr, the stem diameter, root length, shoot biomass, root weight as well as root-shoot ratio of relay intercropping soybean also increased. The maxima of each parameter were all obtained in P1 treatment with corresponding value of 2.02 mm, 8.5 cm, 0.25 g, 0.034 g, and 0.14 respectively. In contrast, plant height of soybeans in relay intercropping was decreased with a maximum of 31.9 cm in P5 treatment. (3) The highest yield was 1 472 kg·hm⁻² obtained in P1 treatment, but there was no significant difference between P1 treatment and P2 treatment. Yield of soybeans decreased with increased row spacing, which was significantly and highly significant correlated with the PAR transmittance and R/Fr, respectively. It is proposed that the narrow row spacings between 20 and 40 cm can be benefit for the light environment, recovery and yield of soybeans in the system.

Keywords: Maize and soybean relay intercropping; PAR transmittance; R/Fr; Root-shoot ratio; Biomass

玉米-大豆带状套作作为我国西南地区发展的重要模式, 对提高耕地复种指数, 增加大豆产量, 缓解供需矛盾起着重要的作用。该模式已经逐步在适宜地区得以推广, 并获得了较好的社会效益。在该模式中, 大豆前期生长发育常受玉米遮荫的影响, 前人从播期^[1-2]、密度^[3]、生长调节剂^[4-6]、磷钾营养^[7]等方面对套作大豆的形态特征进行了大量的研究。但对套作系统中不同行距配置下大

豆冠层光环境 (光强和光质) 变化及其对大豆形态特征和产量的研究则鲜见报道, 而调控玉米行配置, 改善套作大豆的光环境, 提高套作大豆的产量, 具有重要意义。因此, 本研究以玉米-大豆带状套作系统中大豆为研究对象, 分析不同的行距配置下大豆苗期光环境的变化及其形态特征的响应以及不同配置对大豆产量的影响, 以期对玉米-大豆带状复合种植系统的协同高产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地点及材料

试验于雅安四川农业大学教学农场进行。土壤基础肥力:全磷 0.31 g·kg⁻¹、全钾 6.35 g·kg⁻¹、全氮 0.71 g·kg⁻¹、速效磷 24.3 mg·kg⁻¹、速效钾 119.8 mg·kg⁻¹、有机质 32.0 g·kg⁻¹、碱解氮 62.3 mg·kg⁻¹,pH7.40。玉米选用川单 418,大豆选用南豆 12 作为供试品种。

1.2 试验设计

试验采用完全随机区组设计。玉米采用宽窄行种植,于 2012 年 4 月 1 日播种,设 6 个行距种植处理:P1:180+20(宽行行距 180 cm,窄行行距 20 cm,下同);P2:160+40,P3:140+60;P4:120+80;P5:100+100;对照处理大豆净作(SS)。在 P1 到 P4 处理中,玉米行数和大豆行数的比例是 2:2。2 行大豆于 2012 年 6 月 15 日种植在宽行中间,行距为 40 cm。在 P5 处理中,玉米行数和大豆行数的比例为 1:1,行距为 100 cm,间距为 50 cm。每个处理 3 次重复,小区带宽 6 m,种植 3 带,小区面积为 6×7 m²。玉米和大豆的密度分别为 6 万和 10 万株·hm⁻²;套作玉米和大豆的株距分别为 16.7 cm、10 cm;净作大豆株距 14.3 cm。大豆基肥配施纯氮 75 kg·hm⁻²,过磷酸钙 600 kg·hm⁻²,氯化钾 60 kg·hm⁻²,追肥为初花后施纯氮 75 kg·hm⁻²,其它管理同大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 光合有效辐射 参照 Fehr 等^[8]的生育时期划分法,于大豆 V2 期在晴天的 10:30~14:00 进行光合有效辐射(PAR)分布的测定。测定时利用 LI-1400 光量子仪(美国 LI-COR 公司),在各个小区内,移动与 LI-1400 连接的 LI-191SA 探杆,逐个记录每个位点的 PAR 值。数据采集的空间范围是:在 P1~P5 处理中,从大豆冠层顶部 5 cm 的高度从左到右按照玉米与大豆间,大豆上方,大豆行间,大豆上方及玉米与大豆间进行测定 PAR;在 P5 处理中,同样在玉米与大豆间,大豆上方及玉米与大豆间位点进行测定 PAR,将各位点的平均值作为大豆冠层的光合有效辐射(I)。在各个点测定过程中同时记录玉米冠层顶部的 PAR 值(I₀)。采用公式(1)进行透光率的计算^[9-10]

透光率 = I/I₀ (1)

式中 I 为大豆冠层顶部的辐射强度,I₀ 为玉米冠层顶部的辐射强度^[11]。

1.3.2 光质 在玉米和大豆共生期阶段,大豆处于 V2 期,在天气晴朗无云,10:30~14:00,用便携式地

物光谱仪(荷兰 Avantes 公司生产的 AvaField-1,光谱范围 200~1100 nm)测定大豆冠层的光谱辐照度。测定方法同光强,探头垂直向上,每个小区重复 3 次,以其平均值作为该观测点的光谱辐照度。选取红边区域 655~665 nm 和远红光区域 725~735 nm 光谱辐照度值,按照 Hertel 等^[12]的方法计算获得红光/远红光比值(R/Fr)。

1.3.3 形态指标 在大豆的 V2 期每个处理中选定 4 株生长一致有代表性的植株对其株高、茎粗等形态指标进行测定。测定后将此 4 株植株取回,对其根长进行测定,并将其分为地上部和地下部进行烘干称重,测定其地上部和地下部生物量并计算根冠比。

1.3.4 产量 到大豆成熟时,在各小区测产带中,选取中间连续 20 株,将大豆室内风干,测定有效荚数、粒数与百粒重,计算理论产量。

1.4 数据分析

采用 Excel 2007 对数据进行整理,并用 SPSS 13.0 进行方差和回归分析。

2 结果与分析

2.1 冠层透光率和 R/Fr 值

光合有效辐射强度和 R/Fr 比值是表征光特性的两个重要指标,对作物的生长发育具有重要作用^[13]。由图 1 可知,套作大豆冠层的透光率随着玉米窄行行距的增大呈减小趋势,最大值为 60%(P1),最小值为 23%(P5),分别处于 20 cm 玉米窄行处理(P1)和等行距处理(P5)。同样,大豆冠层 R/FR 比值与透光率变化规律一致,最大值为 0.94(P1),最小值为 0.52(P5)。

2.2 形态特征及其与透光率和 R/Fr 值的关系

2.2.1 形态特征 由表 1 可知,与净作大豆相比,套作大豆的株高,随着玉米窄行行距的增加呈现出逐渐升高的趋势。P1 处理最低,P5 处理最高,分别比净作增加 60.2%和 92.9%。相反,与净作大豆相比,P1~P5 处理,套作大豆茎粗分别降低了 15.0%、20.7%、22.9%、24.6%和 25.8%;而根长则分别降低了 7.4%、10.3%、19.2%、26.7%和 36.6%。同样,套作大豆的地上、地下部生物量和根冠比 P1~P5 处理逐渐递减,单株地上部生物量从 0.254 g 降低到 0.199 g,显著低于净作大豆(P<0.05)。P1~P5 处理,根系生物量与净作相比分别降低了 45.8%、54.2%、63.4%、64.0%和 68.0%。此外,套作大豆根冠比最大值和最小值出现在 P1 和 P5 处理,分别为 0.135 和 0.102。

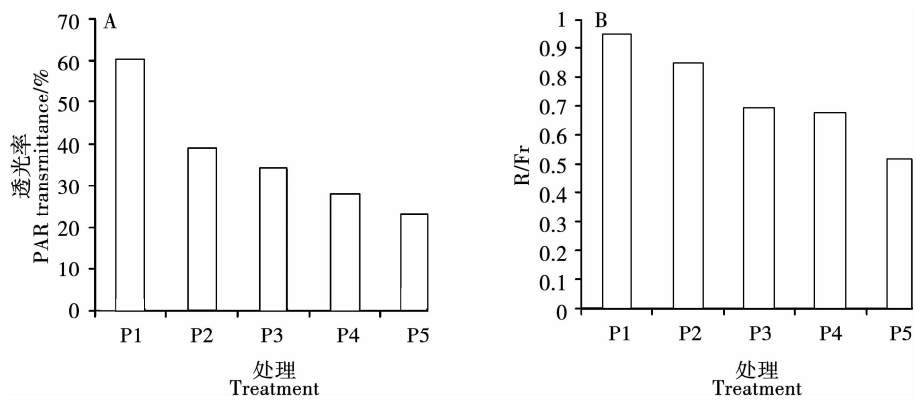


图 1 不同处理的透光率 (A) 和 R/Fr 值 (B)

Fig. 1 PAR transmittance (A) and R/Fr (B) of different treatments

表 1 不同的处理下大豆形态特征

Table 1 Soybean morphological characteristics under different treatments						
处理	株高	茎粗	根长	地上部生物量	根重	根冠比
Treatment	Plant height/cm	Stem diameter/mm	Root length/cm	Shoot biomass/g	Root biomass/g	Root/shoot
P1	26.5 c	2.02 b	8.5 b	0.254 b	0.0342 b	0.135 b
P2	29.1 b	1.89 c	8.3 b	0.238 bc	0.0289 c	0.121 c
P3	30.9 a	1.84 c	7.5 c	0.217 cd	0.0231 cd	0.106 d
P4	31.9 a	1.79 cd	6.8 cd	0.215 cd	0.0227 de	0.106 d
P5	31.9 a	1.77 d	5.9 d	0.199 d	0.0202 e	0.102 d
SS	16.5 d	2.38 a	9.2 a	0.305 a	0.0631 a	0.207 a

同列数据不同小写字母表示在 5% 水平差异显著,下同。

Different lowercase letters in each column mean significant at 0.05 level. The same below.

2.2.2 形态特征与透光率和 R/Fr 值的关系 套作大豆苗期的形态特征与大豆冠层透光率和 R/Fr 的关系如表 2 所示。套作大豆株高与透光率呈显著负相关,相关系数为 -0.980;而茎粗、根系生物量和根冠比则与之极显著正相关,相关系数分别为 0.998, 0.968 和 0.966。同样,地上部生物量与透光率显著正相关,相关系数为 0.948,但根长与透光率相关性不显著($P>0.05$)。对于 R/Fr 值,套作大豆株高与

R/Fr 值呈显著负相关关系,相关系数为 -0.923,而根长、地上部生物量和根系生物量则与 R/Fr 值极显著正相关,相关系数分别为 0.972,0.994,0.968;茎粗和根冠比与 R/Fr 值呈显著正相关关系,相关系数分别为 0.936,0.950。因此,在玉米-大豆带状套作系统中,套作大豆冠层的透光率和 R/Fr 值对大豆苗期的生长发育具有重要影响。

表 2 套作大豆形态特征与透光率和 R/Fr 的相关系数

Table 2 The correlation coefficient between PAR transmittance, R/Fr and soybean morphological characteristics							
	透光率	R/Fr	株高	茎粗	根长	地上部生物量	根系生物量
	PAR Transmittance		Plant height	Stem diameter	Root length	Shoot biomass	Root biomass
透光率							
PAR Transmittance							
R/Fr	0.925 *						
株高	-0.980 **	-0.923 *					
Plant height							
茎粗	0.998 **	0.936 *	-0.990 **				
Stem diameter							
根长	0.874	0.972 **	-0.877	0.887 *			
Root length							

续表 2

	透光率	R/Fr	株高	茎粗	根长	地上生物量	根系生物量	根冠比
	PAR Transmittance		Plant height	Stem diameter	Root length	Shoot biomass	Root biomass	Root/shoot
地上生物量 Shoot biomass	0.948 *	0.994 **	-0.956 *	0.960 **	0.956 *			
根系生物量 Root biomass	0.968 **	0.968 **	-0.984 **	0.980 **	0.910 *	0.989 **		
根冠比 Root/shoot	0.966 **	0.950 *	-0.989 **	0.979 **	0.886 *	0.978 **	0.998 **	

2.3 大豆产量及其与透光率和 R/Fr 值的关系

2.3.1 大豆产量 由图 2 可知,不同套作配置下套作大豆的产量随着玉米窄行行距的增大总趋势降低。其中,P1 和 P2 处理大豆产量差异不显著,显著高于其它套作处理。其中 P1 比 P3、P4 和 P5 处理高 26.5%、44.0% 和 58.4%,但显著低于净作大豆。

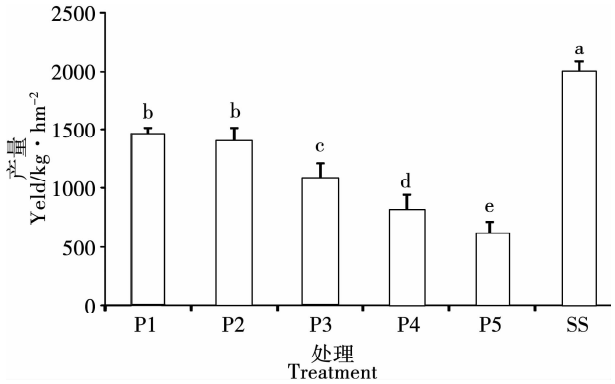


图 2 不同处理大豆产量

Fig. 2 Soybean yield under different treatments

2.3.2 大豆产量与透光率和 R/Fr 值的关系 套作大豆的产量与其苗期冠层的 PAR 透光率呈显著正相关关系,相关系数为 0.880;与其冠层 R/Fr 值呈极显著正相关关系,相关系数为 0.965;其冠层的 R/Fr 值与透光率同样呈显著正相关关系,说明套作大豆苗期的光环境直接影响其后期的产量形成。

3 结论与讨论

光是影响植物生长的最重要的环境指标之一。在玉米/大豆套作系统中,大豆前期生长在玉米条带内,套作大豆冠层光经过玉米叶片的吸收和反射作用后,光环境与净作大豆存在差异^[14]。本研究结果表明:在玉米-大豆带状套作系统中,由于玉米的遮荫作用,到达大豆冠层的光合有效辐射显著小于净作大豆冠层,且随玉米窄行行距的增大呈降低的趋势,这与玉米和大豆间距减小有关。同样,在套作系统中,光到达玉米冠层后,部分红光波段被玉米叶片吸收,而远红外波段的光则被传递下去^[15],导致大豆冠层的 R/Fr 值显著小于净作大豆。

本研究结果也证实,大豆冠层的 R/Fr 值随着玉米窄行行距的增大(玉米和大豆间距的降低)呈逐渐减小的趋势,说明套作大豆冠层 R/Fr 值的大小受玉米与大豆间距的直接影响。

作物生长环境中光合有效辐射和光质的改变均会引起作物形态特征的改变。在本研究中,随着玉米和大豆间距降低,大豆受荫蔽胁迫加大,其株高、茎粗、根长、地上部生物量、根系生物量和根冠比等形态特征都发生了相应的改变。同样, Schmitt^[16]等的研究也表明,由光强的改变而引起的作物的植株的伸长生长在其遮荫条件下的高度适应性有关,但是这可能会引起作物产量的下降,与本研究结果一致。此外, Ruberti 等^[17]的研究也表明,作物生长在弱光条件下,根系的生长会发生变化,且在遮荫条件下大豆苗期的株高会显著增加,而茎粗却显著降低^[18]。

同样,在本研究中,随着玉米和大豆间距加大,套作大豆冠层 R/Fr 比值也逐渐增加,大豆株高降低,茎粗、根长和地上部生物量增加。通过套作大豆形态特征参数与光合有效辐射透光率和 R/Fr 值进行相关分析,均达到显著水平(除透光率与根长外),说明玉米-大豆带状套作系统中,行距配置不仅要考虑光强变化,还要考虑光质的变化对大豆幼苗生长的影响。这些结果与 Smith 等^[9]发现当作物冠层越来越封闭的时候,其底部的 R/Fr 值会表现出减小的趋势,作物生长在较低的 R/Fr 值的环境中,其地上部会发生伸长生长的结果吻合。

在玉米-大豆套作系统中,大豆产量随着玉米窄行行距的增大而减小,这与大豆冠层的透光率和 R/Fr 值的变化趋势一致,而相关分析也表明,大豆产量与大豆苗期冠层的透光率和 R/Fr 值呈显著和极显著正相关关系,说明玉米对套作大豆的影响主要是通过改变大豆冠层的光环境和生长发育,最终影响大豆产量。其中,在玉米窄行行距为 20~40 cm 时,套作大豆产量最高。因此,在玉米-大豆带状套作种植中适宜的行距配置有利于大豆的生长和产量形成,实现两种作物的协调高产。

参考文献

[1] 杨继芝,文涛,王竹,等. 播期对套作大豆幼苗生长与叶片光合性能的影响[J]. 作物杂志, 2008(5):54-58. (Yang J Z, Wen T, Wang Z, et al. Effect of sowing date on photosynthetic characteristics of leaves and growth of soybeanseedling under cultivation pattern of wheat/ corn/ soybean[J]. Crops, 2008(5):54-58.)

[2] 雍太文,杨文钰,向达兵,等. 玉/豆套作模式下玉米播期与密度对大豆农艺性状及产量的影响[J]. 大豆科学, 2009,28(3):439- 444. (Yong T W, Yang W Y, Xing D B, et al. Effect of maize sowing time and density on the agronomic characters and yield of soybean in relay-planting system of maize and soybean [J]. Soybean Science, 2009,28(3):439-444.)

[3] 王竹,杨文钰. 不同种植密度对套作大豆茎叶形态及产量的影响[J]. 安徽农业科学, 2009(5):1957-1960. (Wang Z, Yang W Y. Effect of planting density on stem and leaf morphological characteristics and yield of relay-cropping system[J]. Anhui Agricultural Sciences,2009(5):1957-1960.)

[4] 龚万灼,张正翼,杨文钰,等. 烯效唑干拌种对大豆形态特征和产量的影响[J]. 大豆科学, 2007,26(3):369- 372. (Gong W Z, Zhang Z Y, Yang W Y, et al. Effect of uniconazole for dry seed treatment on morphological characteristics and yield of soybean[J]. Soybean Science, 2007, 26(3):369-372.)

[5] 闫艳红,杨文钰,杨小丽. 叶面喷施烯效唑对大豆农艺性状的影响[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版), 2008(3):215-218. (Yan Y H, Yang W Y, Yang X L. Effect of spraying uniconazole on agronomical traits of relay-cropping soybean [J]. Journal of Qingdao Agricultural University (Natural Science), 2008(3):215-218.)

[6] 万燕,杨文钰. 不同生长调节剂叶面喷施对套作大豆形态及产量的影响[J]. 大豆科学, 2009,28(1):63-66. (Wan Y, Yang W Y. Effect of spraying plant growth regulator on morphology and yield of relay-cropping soybean [J]. Soybean Science, 2009, 28(1):63-66.)

[7] 向达兵,郭凯,雷婷,等. 磷钾营养对套作大豆茎秆形态和抗倒性的影响[J]. 中国油料作物学报, 2010, 32(3):395-402. (Xiang D B, Guo K, Lei T, et al. Effects of phosphorus and potassium on stem characteristics and lodging resistance of relay cropping soybean [J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2010, 32(3):395-402.)

[8] Fehr W R, Caviness C F, Burmood D T, et al. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill [J]. Crop Science, 1971, 11: 929-931.

[9] 李艳大,汤亮,张玉屏,等. 水稻冠层光截获与叶面积和产量的关系[J]. 中国农业科学, 2010, 43(16):3296-3305. Li Y D, Tang L, Zhang Y P, et al. Relationship of PAR itterception of canopy to leaf area and yield in rice [J]. Scientia Agricultura Sinica, 2010, 43(16):3296-3305.

[10] 李艳大,汤亮,张玉屏,等. 水稻冠层光合有效辐射的时空分布特征[J]. 应用生态学报, 2010, 21(4):952-958. (Li Y D, Tang L, Zhang Y P, et al. Spatiotemporal distribution of photosynthetically active radiation in rice canopy[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2010,21(4):952-958.)

[11] 吕丽华,赵明,赵久然,等. 不同施氮量下夏玉米冠层结构及光合特性的变化[J]. 中国农业科学, 2008, 41(9):2624-2632. (Lyu L H, Zhao M, Zhao J R, et al. Canopy structure and photosynthesis of summer maize under different nitrogen fertilizer application rates[J]. Scientia Agriclura Sinica, 2008, 41(9):2624-2632.)

[12] Hertel C, Leuchner M, Rötzer T, et al. Assessing stand structure of beech and spruce from measured spectral radiation properties and modeled leaf biomass parameters[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2012, 165: 82-91.

[13] Smith H. Phytochromes and light signal perception by plants-an e-merging synthesis[J]. Nature, 2000, 407: 585-591.

[14] Aphalo P J, Ballaré C L, Scopel A L. Plant-plant signalling, the shade-avoidance response and competition[J]. Journal of Experimental Botany, 1999, 50: 1629-1634.

[15] Pessarakli M. Handbook of plant and crop physiology[M]. New York:Marcel Dekker, 2001: 973.

[16] Schmitt J. Is photomorphogenic shade avoidance adaptive? Perspectives from population biology[J]. Plant, Cell & Environment, 1997, 20(6):826-830.

[17] Ruberti I, Sessa G, Ciolfi A, et al. Plant adaptation to dynamicaly changing environment: the shade avoidance response[J]. Biotechnology Advances, 2012, 30(5):1047-1058.

[18] Yan Y H, Gong W Z, Yang W Y, et al. Seed treatment with uniconazole powder improves soybean seedling growth under shading by corn in relay strip intercropping system[J]. Plant Production Science, 2010, 13(4):367-374.